

BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND

REC'D 08 SEP 2004

WIPO

PCT

**Prioritätsbescheinigung über die Einreichung
einer Patentanmeldung****Aktenzeichen:** 103 31 906.9**Anmeldetag:** 15. Juli 2003**Anmelder/Inhaber:** Leica Microsystems Heidelberg GmbH,
68165 Mannheim/DE**Bezeichnung:** Lichtquelle mit einem mikrostrukturierten optischen
Element und Mikroskop mit Lichtquelle**IPC:** G 02 B 21/06**Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ur-
sprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.**

München, den 10. März 2004
Deutsches Patent- und Markenamt
Der Präsident
Im Auftrag

**PRIORITY
DOCUMENT**
SUBMITTED OR TRANSMITTED IN
COMPLIANCE WITH RULE 17.1 (a) OR (b)

**Lichtquelle mit einem mikrostrukturierten optischen Element und
Mikroskop mit Lichtquelle**

Die Erfindung betrifft eine Lichtquelle mit einem mikrostrukturierten optischen
5 Element, das das Licht einer Primärquelle spektral verbreitert, und mit einer
Optik, die das spektral verbreiterte Licht zu einem Beleuchtungslichtstrahl
formt.

Außerdem betrifft die Erfindung ein Mikroskop, das eine Lichtquelle mit einem
mikrostrukturierten optischen Element, das das Licht einer Primärquelle
10 spektral verbreitert, und mit einer Optik, die das spektral verbreiterte Licht zu
einem Beleuchtungslichtstrahl formt, beinhaltet.

Die Patentschrift US 6,097,870 offenbart eine Anordnung zur Generierung
eines Breitbandspektrums im sichtbaren und infraroten Spektralbereich. Die
Anordnung basiert auf einer mikrostrukturierten Faser, in die das Licht eines
15 Pumplasers eingekoppelt wird. Das Pumplicht wird in der mikrostrukturierten
Faser durch nichtlineare Effekte verbreitert. Als mikrostrukturierte Faser findet
auch sog. Photonic-Band-Gap-Material oder "photon crystal fibres", „holey
fibers“ oder „microstructured fibers“ Verwendung. Es sind auch
Ausgestaltungen als sog. „Hollow fiber“ bekannt.

20 Eine weitere Anordnung zur Generierung eines Breitbandspektrums ist in der

Veröffentlichung von Birks et al.: „Supercontinuum generation in tapered fibers“, Opt.Lett. Vol. 25, p.1415 (2000), offenbart. In der Anordnung wird eine herkömmliche Lichtleitfaser mit einem Faserkern, die zumindest entlang eines Teilstücks eine Verjüngung aufweist verwendet. Lichtleitfasern dieser Art sind als sog. „tapered fibers“ bekannt.

Insbesondere in der Mikroskopie, der Endoskopie, der Flußzytometrie, der Chromatographie und in der Lithographie sind zur Beleuchtung der Objekte universelle Beleuchtungseinrichtungen mit hoher Leuchtdichte wichtig. In der Scanmikroskopie wird eine Probe mit einem Lichtstrahl abgerastert. Hierzu werden oft Laser als Lichtquelle eingesetzt. Aus der EP 0 495 930: „Konfokales Mikroskopsystem für Mehrfarbenfluoreszenz“ ist beispielsweise ein Anordnung mit einem einzelnen mehrere Laserlinien emittierenden Laser bekannt. Derzeit werden hierfür meist Mischgaslaser, insbesondere ArKr-Laser, eingesetzt. Als Probe werden beispielsweise mit Fluoreszenzfarbstoffen präparierte, biologische Gewebe oder Schnitte untersucht. Im Bereich der Materialuntersuchung wird oft das von der Probe reflektierte Beleuchtungslicht detektiert. Auch Festkörperlaser und Farbstofflaser, sowie Faserlaser und Optisch-Parametrische-Oszillatoren (OPO), denen ein Pumplaser vorgeordnet ist, werden häufig verwendet.

Aus der Offenlegungsschrift DE 101 15 488 A1 ist eine Vorrichtung zur Beleuchtung eines Objekts, die ein mikrostrukturiertes optisches Element beinhaltet, das das Licht eines Lasers spektral verbreitert, bekannt. Die Vorrichtung umfasst eine Optik, die das spektral verbreiterte Licht zu einem Beleuchtungslichtstrahl formt. Außerdem ist in der Offenlegungsschrift die Verwendung der Vorrichtung zur Beleuchtung in einem Mikroskop, insbesondere in einem Scanmikroskop, offenbart.

Es hat sich gezeigt, dass insbesondere mehrfarbige Beleuchtungslichtstrahlen, die aus Lichtquellen stammen, die mikrostrukturiertes optisches Material, insbesondere mikrostrukturierte optische Fasern beinhalten, aufgrund schlechter Strahleigenschaften nur eingeschränkt verwendbar sind. Insbesondere in der Mikroskopie werden bei Verwendung derartiger Beleuchtungslichtstrahlen oft mangelhafte Ergebnisse

erzielt.

Es ist daher die Aufgabe der vorliegenden Erfindung, eine Lichtquelle mit einem mikrostrukturiertem optischen Element anzugeben, die einen Beleuchtungslichtstrahl erzeugt, der unabhängig von den in ihm enthaltenen
5 spektralen Anteilen eine gute Strahlqualität aufweist.

Die Aufgabe wird durch eine Lichtquelle gelöst, die dadurch gekennzeichnet ist, dass die Optik die unterschiedlichen Divergenzen der Spektralanteile des spektral verbreiterten Lichtes kompensiert.

Es ist eine weitere Aufgabe der Erfindung, ein Mikroskop, das eine Lichtquelle
10 mit einem mikrostrukturierten optischen Element beinhaltet, anzugeben, mit dem auch bei Mehrfarbbeleuchtung gute Abbildungsergebnisse erzielbar sind.

Diese Aufgabe wird durch ein Mikroskop gelöst, das dadurch gekennzeichnet ist, dass die Optik die unterschiedlichen Divergenzen der Spektralanteile des spektral verbreiterten Lichtes kompensiert.

15 Erfindungsgemäß wurde erkannt, dass die mangelhafte Strahlqualität bei denen aus dem Stand der Technik bekannten Lichtquellen mit mikrostrukturiertem optischem Material darauf zurückzuführen ist, dass die Leuchtkegel der verschiedenen spektralen Anteile des spektral verbreiterten Lichts beim Austritt aus dem mikrostrukturierten optischen Material eine
20 unterschiedliche Differenz aufweisen. Während bei "herkömmlichen Glasfasern (Step-Index-Fasern) die Divergenz für alle Wellenlängen in erster Ordnung weitgehend gleich ist, ist die Divergenz bei mikrostrukturierten Fasern umso größer, je höher die Wellenlänge des jeweiligen spektralen Anteils ist. Dies ist darauf zurückzuführen, dass die Löcher in der Ummantlung
25 (dem Cladding) den für die jeweilige Wellenlänge effektiven Brechungsindex und auch die Dispersion modifizieren. Bei kurzen Wellenlängen dringt nur ein geringer Anteil des elektrischen Feldes in die Löcher ein, so dass der Brechungsindex im Cladding nahezu dem von dem Fasermaterial (in der Regel reinem Quarz) entspricht. Bei längen Wellenlängen dringt das
30 elektrische Feld weit in die Region der Löcher ein, wodurch der effektive Brechungsindex stark reduziert ist. Dieser Effekt ist abhängig von der

Lochgröße und den Abständen der Löcher.

Vorteilhafterweise erzeugt die erfindungsgemäße Lichtquelle einen Beleuchtungslichtstrahl, dessen Licht für alle seine spektralen Anteile gleichzeitig kollimierbar ist. Dies wirkt sich insbesondere in der
5 Scanmikroskopie äußerst günstig aus, da es dort von entscheidender Wichtigkeit ist, dass alle spektralen Anteile des Beleuchtungslichtstrahls in der zu beobachtenden Probenebene ihren Fokus finden.

In einer bevorzugten Ausgestaltung weist die Optik für lichtunterschiedliche Wellenlängen eine unterschiedliche Brennweite auf. Dabei ist es für viele
10 Anwendungen ausreichend, dass die Optik in erster Ordnung eine lineare Abhängigkeit der Divergenz von der Wellenlänge berücksichtigt und korrigiert. Für hoch spezielle Anwendungen ist die Optik vorzugsweise exakt an die Spektraleigenschaften der mikrostrukturierten Faser angepasst.

Bei einer bevorzugten Ausführungsvariante der Lichtquelle fokussiert die Optik
15 die kürzerwelligen Spektralanteile des spektral verbreiterten Lichts stärker als die längerwelligen Spektralanteile des spektral verbreiterten Lichts.

Vorzugsweise beinhaltet das mikrostrukturierte optische Element Photonic-Band-Gap-Material und ist zusätzlich vorzugsweise als Lichtleitfaser ausgestaltet (Photonic-Crystal-Faser PCS; Holey fiber usw).

20 In einer anderen Variante weist das als Lichtleitfaser ausgestaltete mikrostrukturierte optische Element eine Verjüngung (Tapered fiber) auf.

In einer bevorzugten Variante der Lichtquelle ist eine Blende vorgesehen, die die Randstrahlen des spektral verbreiterten Lichtes ausblendet. Diese Blende trägt dem Effekt Rechnung, dass bei zunehmender Wellenlänge mehr Licht in
25 das Cladding der mikrostrukturierten Lichtleitfaser gelangt, was am Ausgang der mikrostrukturierten Lichtleitfaser sichtbar ist, wenn gleich der Lichtleistungsanteil dieses Lichts wesentlich geringer ist, als der des direkt aus dem Kern austretenden spektral verbreiterten Lichtes. Insbesondere beim Einsatz der Lichtquelle in einem konfokalen Rastermikroskop ist es von
30 Vorteil, dieses Randlicht durch eine Blende herauszufiltern. Vorzugsweise weist die Optik, die das spektral verbreiterte Licht zu einem

Beleuchtungslichtstrahl formt, eine geeignete Blende auf.

In einer ganz bevorzugten Ausgestaltungsvariante ist die Optik Bestandteil eines Mikroskops, insbesondere eines Rastermikroskops oder eines konfokalen Rastermikroskops. Besonders vorteilhaft ist es, wenn die Optik als
5 Objektiv ausgeführt ist.

Die erfindungsgemäße Lichtquelle ist beispielsweise auch in einem Flußzytometer oder einem Endoskop oder einem Chromatographen oder einer Lithographievorrichtung verwendbar.

Das mikrostrukturierte optische Element ist in einer bevorzugten Ausgestaltung des Scanmikroskops aus einer Vielzahl von mikrooptischen Strukturelementen aufgebaut, die zumindest zwei unterschiedliche optische Dichten aufweisen. Ganz besonders bevorzugt ist eine Ausgestaltung, bei der das optische Element einen ersten Bereich und einen zweiten Bereich beinhaltet, wobei der erste Bereich eine homogene Struktur aufweist und in
10 dem zweiten Bereich eine mikroskopische Struktur aus mikrooptischen Strukturelementen gebildet ist. Von Vorteil ist es außerdem, wenn der erste Bereich den zweiten Bereich umschließt. Die mikrooptischen Strukturelemente sind vorzugsweise Kanülen, Stege, Waben, Röhren oder Hohlräume.
15

Das mikrostrukturierte optische Element besteht in einer anderen Ausgestaltung aus nebeneinander angeordnetem Glas- oder Kunststoffmaterial und Hohlräumen. Besonders zu bevorzugen ist die Ausführungsvariante, bei der das mikrostrukturierte optische Element aus Photonic-Band-Gap-Material besteht und als Lichtleitfaser ausgestaltet ist. Vorzugsweise ist zwischen dem Laser und der Lichtleitfaser eine optische
20 Diode vorgesehen, die Rückreflexionen des Lichtstrahles die von, den Enden der Lichtleitfaser herrühren, unterdrückt.
25

Eine ganz besonders bevorzugte und einfach zu realisierende Ausführungsvariante beinhaltet als mikrostrukturiertes optisches Element eine herkömmliche Lichtleitfaser mit einem Faserkerndurchmesser von ca. 9 µm, die zumindest entlang eines Teilstücks eine Verjüngung aufweist.
30 Lichtleitfasern dieser Art sind als sog. „tapered fibers“ bekannt. Vorzugsweise

ist die Lichtleitfaser insgesamt 1 m lang und weist eine Verjüngung auf einer Länge von 30 mm bis 90 mm auf. Der Durchmesser der gesamten Faser beträgt in einer bevorzugten Ausgestaltung im Bereich der Verjüngung ca. 2 μm .

- 5 In der Zeichnung ist der Erfindungsgegenstand schematisch dargestellt und wird anhand der Figuren nachfolgend beschrieben. Dabei zeigen:

Fig. 1 eine erfindungsgemäße Lichtquelle,

Fig. 2 den Strahlverlauf von spektral verbreitertem Licht ohne Optik,

- 10 Fig. 3 den Strahlverlauf von spektral verbreitertem Licht mit achromatisch korrigierter Optik,

Fig. 4 den Strahlverlauf von spektral verbreitertem Licht in einer erfindungsgemäßen Lichtquelle,

Fig. 5 eine weitere erfindungsgemäße Lichtquelle und

- 15 Fig. 6 ein erfindungsgemäßes konfokales Rastermikroskop.

Fig. 1 zeigt eine erfindungsgemäße Lichtquelle 1 mit einem mikrostrukturierten optischen Element 3, das als mikrostrukturierte Lichtleitfaser 5 ausgestaltet ist. Die mikrostrukturierte Lichtleitfaser 5 verbreitert das Licht 7 einer Primärlichtquelle 9, die als Puls laser 11 ausgeführt ist. Am Ende der mikrostrukturierten Lichtleitfaser 5 befindet sich eine Optik 13, die das spektral verbreiterte Licht zu einem Beleuchtungslichtstrahl 15 formt, wobei die Optik 13 die unterschiedlichen Divergenzen der Spektralanteile des spektral verbreiterten Lichts, das aus der mikrostrukturierten Lichtleitfaser 5 austritt, kompensiert. Zwischen der Primärlichtquelle 9 und der mikrostrukturierten Lichtleitfaser 5 befindet sich eine Fokussieroptik 17, die das Licht der Primärlichtquelle auf das Eintrittsende der mikrostrukturierten Lichtleitfaser 5 fokussiert. Zum Schutz vor äußeren Störeinflüssen befinden sich die Bauteile in einem Gehäuse 19.

20

25

Fig. 2 zeigt exemplarisch den Verlauf eines ersten Lichtbündels 21 aus dem roten Spektralbereich und eines zweiten Lichtbündels 23 aus dem blauen Spektralbereich des spektral verbreiterten Lichts beim Austritt aus einer mikrostrukturierten optischen Lichtleitfaser 5. Die mikrostrukturierte Lichtleitfaser 5 weist ein Cladding 25 und einen Faserkern 27 auf. Es ist schematisch auch zu erkennen, dass das erste Lichtbündel 21 aus dem roten Spektralbereich zum Teil auch aus dem Cladding 25 austritt, während das zweite Lichtbündel 23 aus dem blauen Spektralbereich im wesentlichen aus dem Faserkern austritt. Vorzugsweise kompensiert die Optik auch diese Tatsache der Afokalität.

Fig. 3 zeigt eine Anordnung gemäß dem Stand der Technik, bei der zur Formung eines Beleuchtungslichtstrahls 15 die Optik 13 als achromatische Optik 29 ausgestaltet ist. Während das zweite Lichtbündel 23, das Licht aus dem blauen Spektralbereich beinhaltet von der achromatischen Optik 29 kollimiert wird, wird nachteilhafter Weise das Licht des ersten Lichtbündels 21, das Licht aus dem roten Spektralbereich beinhaltet, fokussiert. Die beiden Lichtbündel 21, 23 bilden folglich nicht gleichzeitig ein paralleles Strahlenbündel und daher lediglich einen Beleuchtungslichtstrahl von verminderter optischer Strahlqualität.

Fig. 4 illustriert den Verlauf des ersten Lichtbündels 21, das Licht eines roten Spektralanteils beinhaltet und des zweiten Lichtbündels 23, das Licht eines blauen Spektralanteils beinhaltet, bei Verwendung einer Optik 13, die auf die spektralen Eigenschaften der mikrostrukturierten optischen Lichtleitfaser 5 abgestimmte Optik 31 ausgeführt ist. In dieser erfindungsgemäßen Anordnung verlaufen sowohl das erste Lichtbündel 21, das Licht aus dem roten Spektralbereich des spektral verbreiterten Lichts beinhaltet, als auch das Licht des zweiten Lichtbündels 23, das Licht aus dem blauen Spektralbereich des spektral verbreiterten Lichts beinhaltet, kollimiert parallel zueinander und bilden einen Beleuchtungslichtstrahl mit einwandfreien optischen Strahleigenschaften.

Fig. 5 zeigt eine Ausgestaltungsvariante der Lichtquelle, bei der zum Ausblenden des aus dem Cladding 25 des mikrostrukturierten optischen Elements 3 austretenden Lichts eine variable Blende 33 vorgesehen ist.

Fig. 6 zeigt ein erfindungsgemäßes Rastermikroskop, das als konfokales Rastermikroskop ausgebildet ist. Der von einer Lichtquelle 1 mit einem in dieser Figur nicht gezeigten mikrostrukturierten optischen Element ausgehende Beleuchtungslichtstrahl 15 wird von der Linse 35 auf die Beleuchtungslochblende 37 fokussiert und gelangt anschließend zu dem Hauptstrahlteiler 39, der den Beleuchtungslichtstrahl 15 zu der Strahlableitvorrichtung 41, die einen kardanischn aufgehängten Scanspiegel 43 beinhaltet, lenkt. Die Strahlableitvorrichtung 41 führt den Beleuchtungslichtstrahl 15 durch die Scanlinse 45 und die Tubuslinse 47 sowie durch das Objektiv 49 hindurch über bzw. durch die Probe 51. Das von der Probe ausgehende Detektionslicht 53, das in der Figur gestrichelt dargestellt ist, gelangt auf dem umgekehrten Lichtweg, nämlich durch das Objektiv 49, die Tubuslinse 47 und durch die Scanlinse 45 zurück zur Strahlableitvorrichtung 41 und zum Hauptstrahlteiler 39, passiert diesen und gelangt nach Durchlaufen der Detektionslochblende 55 zum Detektor 57, der als Multibanddetektor 59 ausgeführt ist. Im Multibanddetektor 59 wird in verschiedenen spektralen Detektionskanälen das Detektionslicht detektiert und zur Leistung proportionale elektrische Signale erzeugt, die an ein nicht gezeigtes Verarbeitungssystem zur Darstellung eines Abbildes der Probe 51 weitergegeben werden.

Die Erfindung wurde in Bezug auf eine besondere Ausführungsform beschrieben. Es ist jedoch selbstverständlich, dass Änderungen und Abwandlungen durchgeführt werden können, ohne dabei den Schutzbereich der nachstehenden Ansprüche zu verlassen.

Bezugszeichenliste:

	1	Lichtquelle
	3	mikrostrukturiertes optisches Element
5	5	Lichtleitfaser
	7	Licht
	9	Primärlichtquelle
	11	Puls laser
	13	Optik
10	15	Beleuchtungslichtstrahl
	17	Fokussieroptik
	19	Gehäuse
	21	erstes Lichtbündel
	23	zweites Lichtbündel
15	25	Cladding
	27	Faserkern
	29	achromatische Optik
	31	abgestimmte Optik
	33	Blende
20	35	Linse
	37	Beleuchtungslochblende
	39	Hauptstrahlteiler
	41	Strahlablenkeinrichtung
	43	Scanspiegel
25	45	Scanlinse
	47	Tubuslinse

	49	Objektiv
	51	Probe
	53	Detektionslicht
	55	Detektionslochblende
5	57	Detektor
	59	Multibanddetektor

Patentansprüche

1. Lichtquelle mit einem mikrostrukturierten optischen Element, das das Licht einer Primärquelle spektral verbreitert, und mit einer Optik, die das spektral verbreiterte Licht zu einem Beleuchtungslichtstrahl
5 formt, dadurch gekennzeichnet, dass die Optik die unterschiedlichen Divergenzen der Spektralanteile des spektral verbreiterten Lichtes kompensiert.
2. Lichtquelle nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Optik für Licht unterschiedlicher Wellenlängen eine unterschiedliche
10 Brennweite aufweist.
3. Lichtquelle nach einem der Ansprüche 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass die Optik die kürzerwelligen Spektralanteile des spektral verbreiterten Lichtes stärker fokussiert, als die längerwelligen Spektralanteile des spektral verbreiterten Lichtes
- 15 4. Lichtquelle nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass das mikrostrukturierte optische Element Photonic-Band-Gap-Material beinhaltet.
5. Lichtquelle nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass das mikrostrukturierte optische Element als
20 Lichtleitfaser ausgestaltet ist.
6. Lichtquelle nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, dass das mikrostrukturierte optische Element eine Verjüngung (tapered Fiber) aufweist.
7. Lichtquelle nach einem der Ansprüche 5 oder 6, dadurch
25 gekennzeichnet, dass das mikrostrukturierte optische Element eine Photonic-

Crystal-Faser (mikrostrukturierte Faser, Holey Fiber) ist.

8. Lichtquelle nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, dass eine Blende vorgesehen ist, die Randstrahlen des spektral verbreiterten Lichtes ausblendet.
- 5 9. Lichtquelle nach einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, dass die Optik Bestandteil eines Mikroskops, insbesondere eines Rastermikroskop oder eines konfokalen Rastermikroskops, ist.
10. Lichtquelle nach einem der Ansprüche 1 bis 9, dadurch gekennzeichnet, dass die Optik ein Objektiv ist.
- 10 11. Lichtquelle nach einem der Ansprüche 1 bis 8, gekennzeichnet durch die Verwendung in einem Flußzytometer oder einem Endoskop oder einem Chromatographen oder einer Lithographievorrichtung.
12. Mikroskop, das eine Lichtquelle mit einem mikrostrukturierten optischen Element, das das Licht einer Primärquelle spektral verbreitert, und mit einer Optik, die das spektral verbreiterte Licht zu einem Beleuchtungslichtstrahl formt, beinhaltet, dadurch gekennzeichnet, dass die Optik die unterschiedlichen Divergenzen der Spektralanteile des spektral verbreiterten Lichtes kompensiert.
- 15
13. Mikroskop nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, dass die Optik für Licht unterschiedlicher Wellenlängen eine unterschiedliche Brennweite aufweist.
- 20
14. Mikroskop nach einem der Ansprüche 12 oder 13, dadurch gekennzeichnet, dass die Optik die kürzerwelligen Spektralanteile des spektral verbreiterten Lichtes stärker fokussiert, als die längerwelligen Spektralanteile des spektral verbreiterten Lichtes
- 25
15. Mikroskop nach einem der Ansprüche 12 bis 14, dadurch gekennzeichnet, dass das mikrostrukturierte optische Element Photonic-Band-Gap-Material beinhaltet.
16. Mikroskop nach einem der Ansprüche 12 bis 15, dadurch gekennzeichnet, dass das mikrostrukturierte optische Element als
- 30

Lichtleitfaser ausgestaltet ist.

17. Mikroskop nach Anspruch 16, dadurch gekennzeichnet, dass das mikrostrukturierte optische Element eine Verjüngung (tapered Fiber) aufweist.

5 18. Mikroskop nach einem der Ansprüche 16 oder 17, dadurch gekennzeichnet, dass das mikrostrukturierte optische Element eine Photonic-Crystal-Faser (mikrostrukturierte Faser, Holey Fiber) ist.

19. Mikroskop nach einem der Ansprüche 12 bis 18, dadurch gekennzeichnet, dass die Optik ein Objektiv ist.

10 20. Mikroskop nach einem der Ansprüche 12 bis 19, dadurch gekennzeichnet, dass das Mikroskop ein Rastermikroskop, insbesondere ein konfokales Rastermikroskop, ist.

Zusammenfassung

5 Eine Lichtquelle mit einem mikrostrukturierten optischen Element, das das Licht einer Primärquelle spektral verbreitert, weist eine Optik auf, die das spektral verbreiterte Licht zu einem Beleuchtungslichtstrahl formt. Die Optik kompensiert die unterschiedlichen Divergenzen der Spektralanteile des spektral verbreiterten Lichtes. Außerdem ist ein Mikroskop offenbart.

Fig. 1

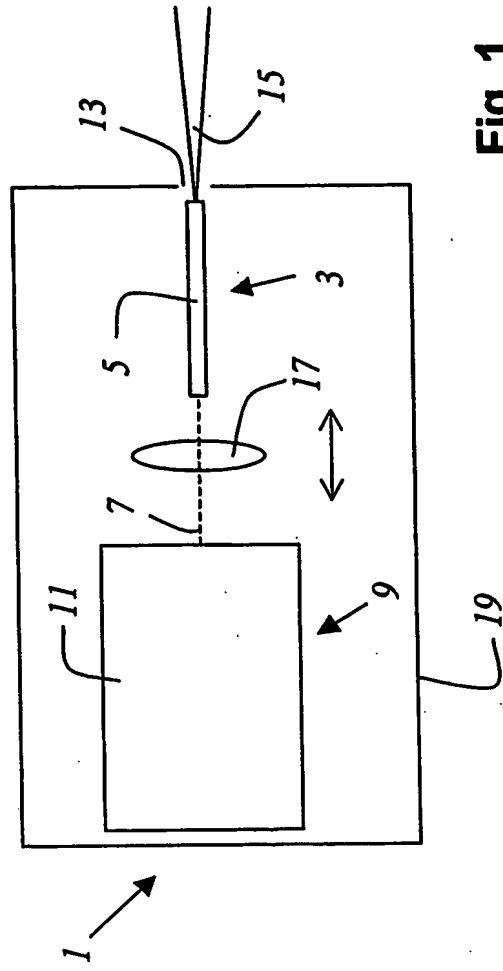


Fig. 1

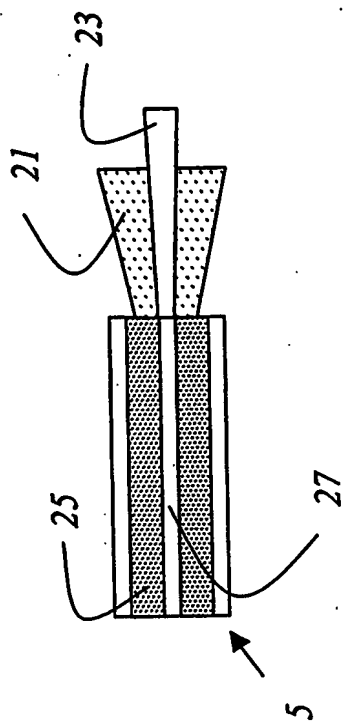


Fig. 2

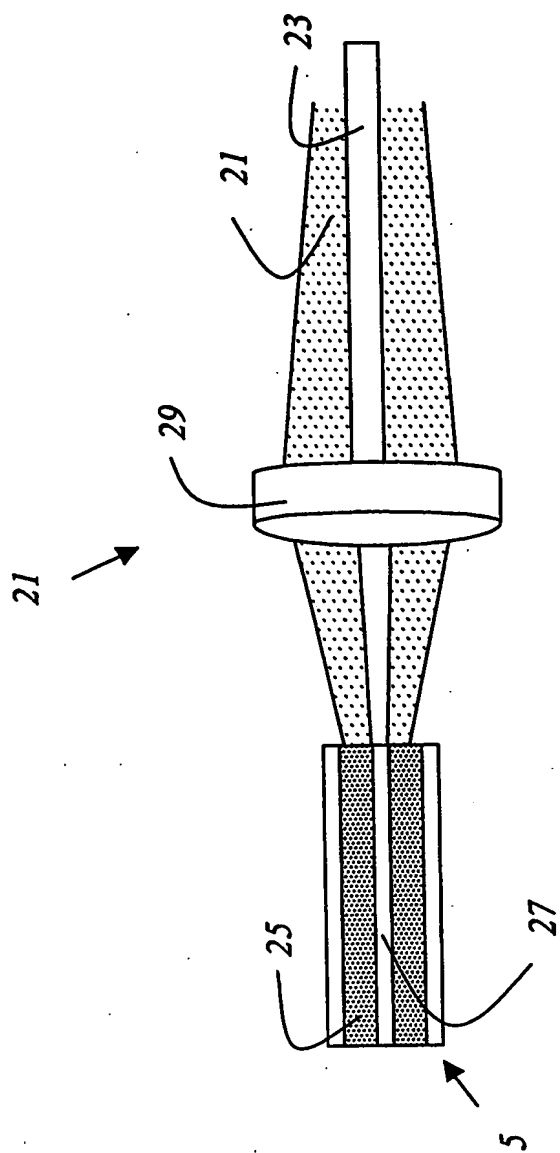


Fig. 3

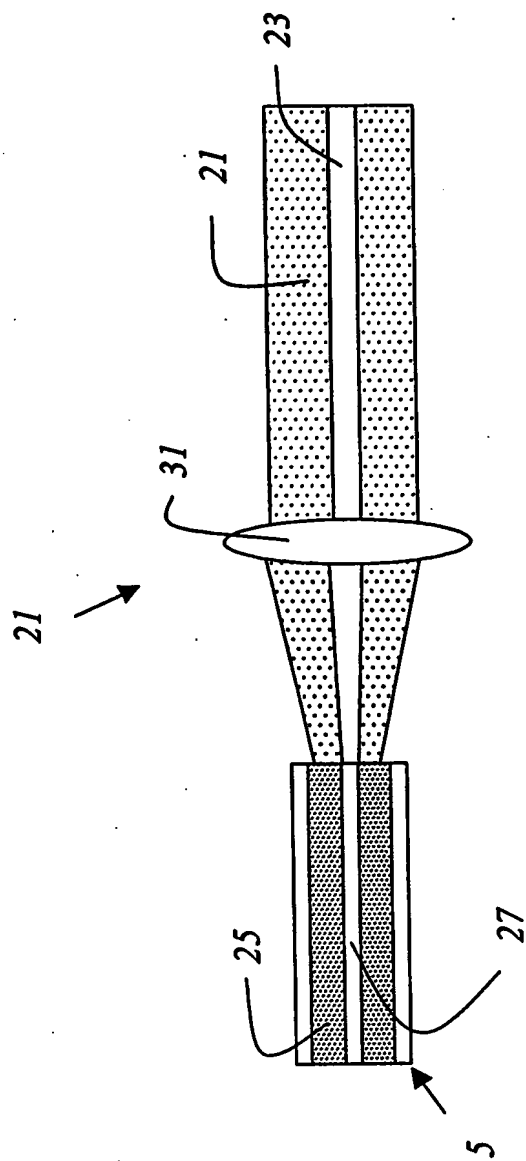


Fig. 4

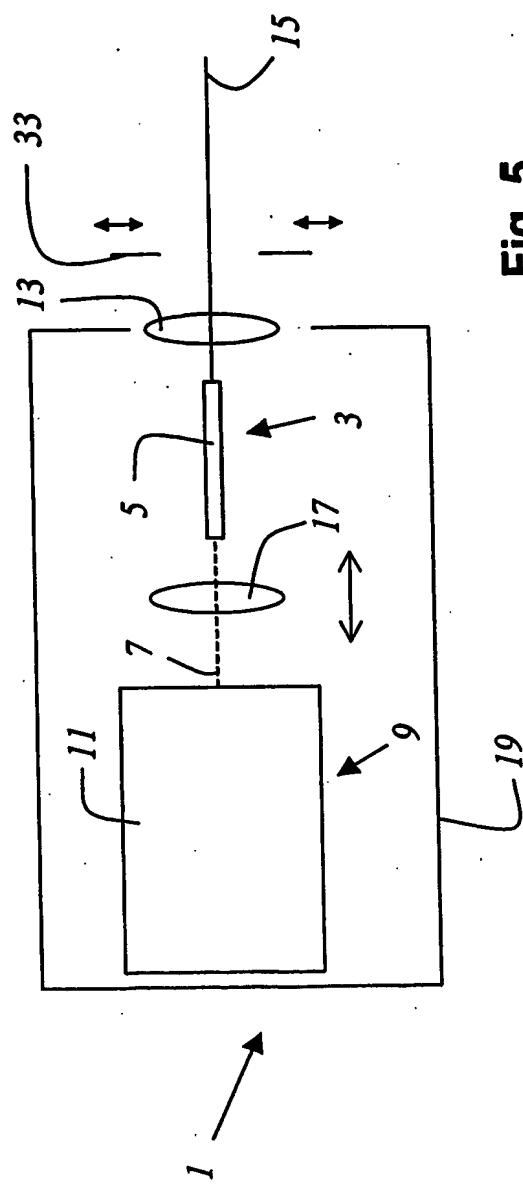


Fig. 5

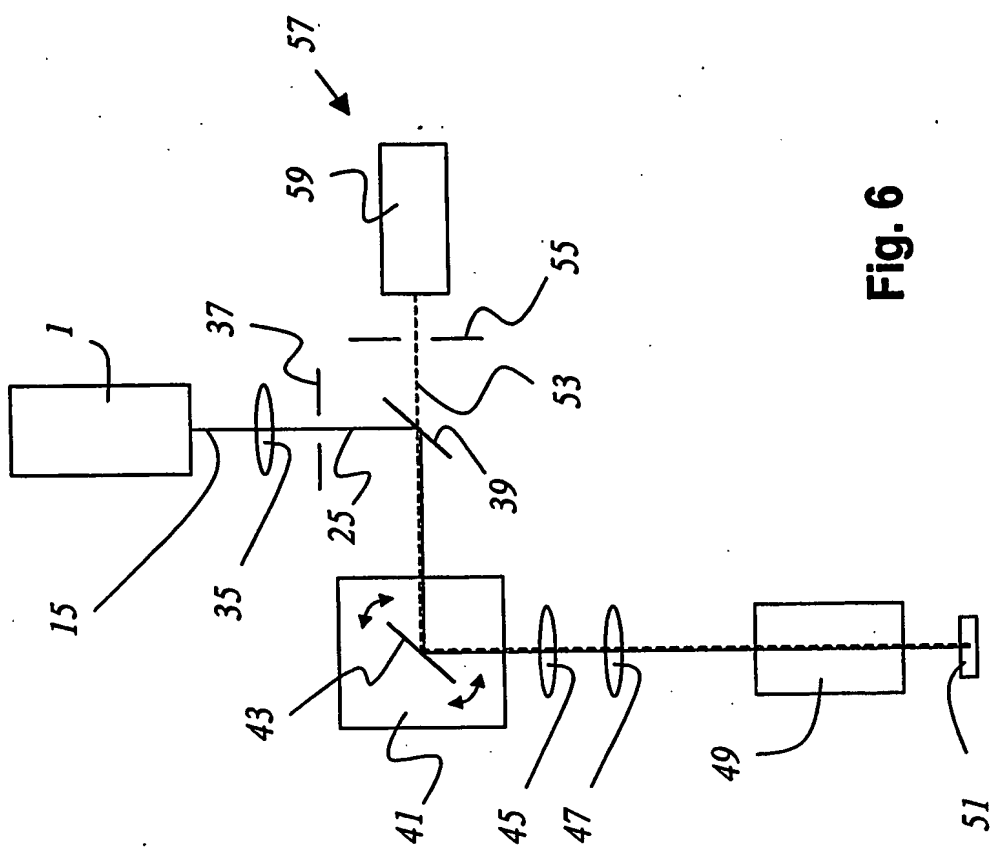


Fig. 6